

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА СИГНАЛОВ, ОТРАЖЁННЫХ ПРОТЯЖЁННОЙ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

¹**Сохинова В.В.**

1 Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, кафедра радиоэлектроники информационных систем, Екатеринбург, Россия (620078 Россия, г.Екатеринбург, ул. Мира, 32), e-mail: vika-sokhinova@yandex.ru

Аннотация: Предложен быстрый алгоритм расчёта сигнала ЧМРВ, рассеянного подстилающей поверхностью. Ускорение расчетов обеспечивается за счёт группировки отражателей с близкими частотами. Проведена оценка границ зон равной частоты и выигрыша в быстродействии модели.

Ключевые слова: частотная модуляция, сигнал биения разностной частоты, моделирование отражённого сигнала, протяжённая поверхность.

ALGORITHM OF CALCULATION OF THE SIGNALS REFLECTED BY THE EXTENDED ROUGH SURFACE

¹**Sokhinova V.V.**

¹Institute of Radio Electronics and Information Technology - RTF The Ural Federal University. First President of Russia Boris Yeltsin, Department of electronics information systems, Ekaterinburg, Russia (620078 Russia, Ekaterinburg, Mira st., 32), e-mail: vika-sokhinova@yandex.ru

Abstract: The fast algorithm of calculation of a signal of FMRA disseminated by the spreading surface is offered. Acceleration of calculations is provided at the expense of group of reflectors with close frequencies. The assessment of borders zones of equal frequency and a prize in speed of model is carried out.

Key words: frequency modulation, signal of a beating of differential frequency, modeling of the reflected signal, extended surface.

Введение

Радиовысотометр с изучением непрерывных частотно-модулированных колебаний (ЧМРВ) широко применяют для управления летательным аппаратом (ЛА) в вертикальной плоскости в крейсерском режиме, в системах захода на посадку и автоматической посадки. На рисунке (1) приведена упрощённая структурная схема ЧМРВ.

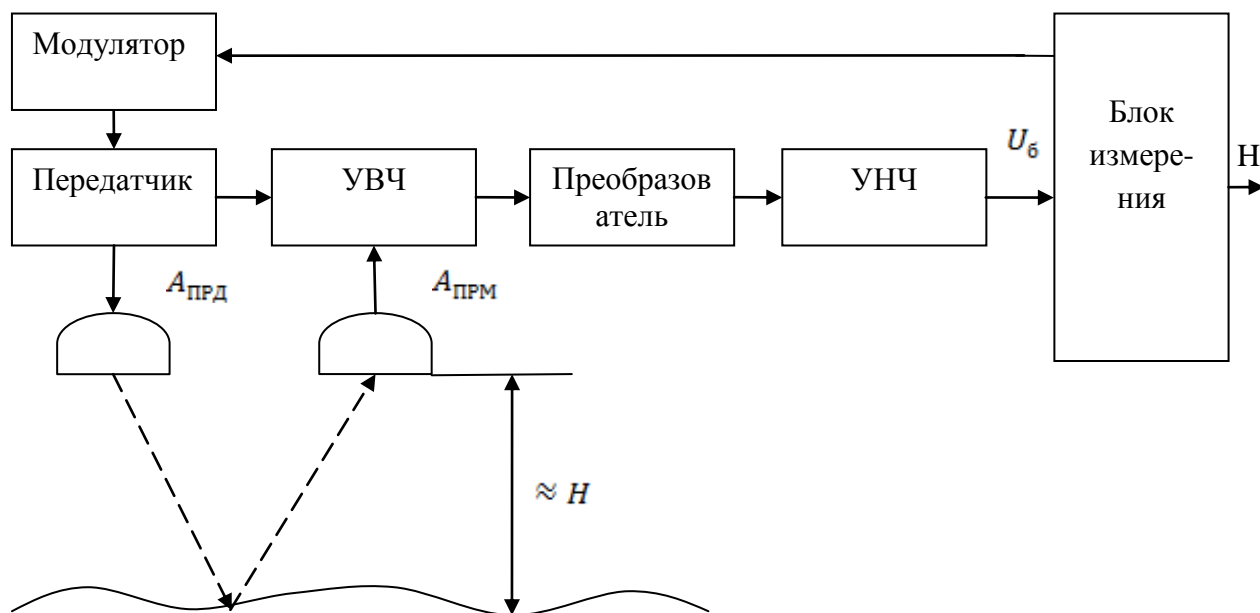


Рис. 1. Структурная схема радиовысотомера с ЧМРВ

Определение высоты частотным методом сводится к измерению изменения частоты излучаемых колебаний за время распространения сигнала до отражающего объекта и обратно [1].

Работу высотомера при неизменном расстоянии до объекта поясняет временная диаграмма на рисунке (2). В данном примере используется симметричная линейная частотная модуляция (СЛЧМ), при которой каждый период модуляции состоит из двух одинаковых полупериодов с положительным $\gamma = \frac{df_H}{dt} > 0$ и отрицательным $\gamma < 0$ изменением частоты $f_H(t)$ формируемого и излучаемого радиосигнала.

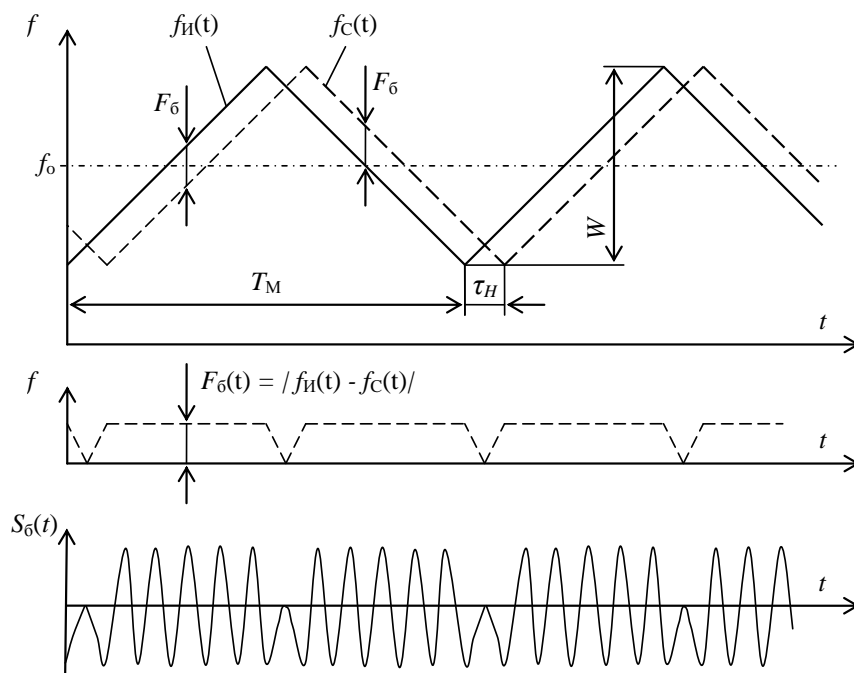


Рис. 2. Сигналы в радиовысотомере с СЛЧМ зондирующего сигнала

Верхний график характеризует изменение частоты излучаемых $f_{\text{н}}(t)$ и принимаемых $f_{\text{с}}(t) = f_{\text{н}}(t - \tau_{\text{н}})$ колебаний, имеющих среднюю частоту f_0 , период модуляции $T_{\text{м}}$ и девиацию частоты W . Средний и нижний графики воспроизводят изменение разностной частоты $F_6(t) = |f_{\text{н}}(t) - f_{\text{с}}(t)|$ и примерный вид «сигнала биений» $S_6(t)$ – низкочастотной (разностной) составляющей сигнала с выхода смесителя [1].

При анализе сигналов, отражённых протяжённой подстилающей поверхностью используется, как правило, феноменологический подход. В этом случае, подстилающая поверхность представляется в виде совокупности независимых отражателей, а выходной сигнал – суперпозицией элементарных отражённых сигналов.

Расчёт сигнала для каждого элементарного отражателя с последующим суммированием всех парциальных сигналов приводит к чрезвычайно большому объёму вычислений. Моделирование сигнала на несущей частоте с использованием метода комплексных огибающих требует практически нереализуемого числа операций.

Существенного снижения объёма вычислений можно добиться моделированием сигнала на выходе преобразователя частоты (сигнала биений) в предположении линейности СВЧ-части радиовысотомера относительно входных сигналов.

Целью статьи является разработка алгоритма расчёта реализации сигнала биений ЧМРВ, рассеянного подстилающей поверхностью.

Алгоритм моделирования отражённого сигнала

Сигнал элементарного отражателя (ЭС) в случае симметричной ЧМ при пренебрежимо малых зонах обращения представляет собой отрезки синусоидального сигнала, зеркально-симметричные в окрестности моментов смены знака крутизны модуляции. Частота сигнала биений определяется задержкой и доплеровским сдвигом частоты сигнала ЭО. Мгновенная фаза ЭС при сделанных допущениях может быть представлена в виде [2]:

$$\Psi b(t) = \omega(t)\tau(t) + \Psi r, \quad (1)$$

где $\Psi b(t)$ – мгновенная фаза ЭС;

Ψr – фаза коэффициента отражения ЭС;

$\omega(t)$ – мгновенная частота зондирующего сигнала.

Набег фазы за полупериод модуляции [2]:

$$d\Psi = \Psi b(T(i+1)) - \Psi b(Ti) = \omega s \tau(Ti) - \omega e \tau(T(i+1)), \quad (2)$$

где ωs , ωe – начальная и конечная частоты зондирующего сигнала.

Частота ЭС [2]:

$$\Omega = \frac{d\Psi}{T}. \quad (3)$$

Отметим, что в выражениях (2), (3) учитывается как частотная модуляция сигнала, так и изменение задержки, т.е. и дальномерный и доплеровский сдвиг частоты отражённого сигнала.

В соответствии с выражениями (1–3) можно предложить алгоритм генерации реализации сигнала биений, обеспечивающий симметрию в зонах обращения.

1. Генерация нормированных средних значений амплитуд отражателей в облучаемой площади dUd_i , определяемых ДНА и расстоянием до элемента поверхности для единичного отражателя.
2. Генерация случайных отражателей $A_i, \Psi r_i$ в пределах моделируемого участка поверхности.
3. Вычисление $\Psi b_{i,0} = \omega s \cdot \tau_{i,0} + \Psi r_i$ в момент начала модуляции.
4. Вычисление $\Psi b_{i,1} = \omega e \cdot \tau_{i,1} + \Psi r_i$ в момент конца модуляции с учётом перемещения отражателей относительно антенны и изменением частоты сигнала.
5. Вычисление приращения фазы за период модуляции $d\Psi_{i,0} = \Psi b_{i,1} - \Psi b_{i,0}$ и средней частоты сигнала в соответствии с формулой (3).
6. Вычисление массива $U_{i,0,k} = dUd_i \cdot A_i \cdot \cos\left(\frac{d\Psi_{i,0}}{T} Ts \cdot k + \Psi b_{i,0}\right)$.
7. Суммирование по всем элементам поверхности $U \Sigma_{0,k} = \sum_i U_{i,0,k}$.
8. Вычисление $\Psi b_{i,2} = \omega s \cdot \tau_{i,2} + \Psi r_i$.
9. Вычисление $d\Psi_{i,2} = \Psi b_{i,2} - \Psi b_{i,1}$.
10. Вычисление массива $U_{i,1,k} = dUd_i \cdot A_i \cdot \cos\left(\frac{d\Psi_{i,1}}{T} Ts \cdot k + \Psi b_{i,1}\right)$.
11. Суммирование по всем элементам поверхности $U \Sigma_{1,k} = \sum_i U_{i,1,k}$.

Тестирование модели отражённого сигнала

Основной задачей тестирования была проверка симметрии сигнала в зонах обращения и при смене отражателей в облучаемой площади.

На рисунках (3), (4) приведены фрагменты сгенерированной реализации сигнала, свидетельствующие о корректности предложенного алгоритма.

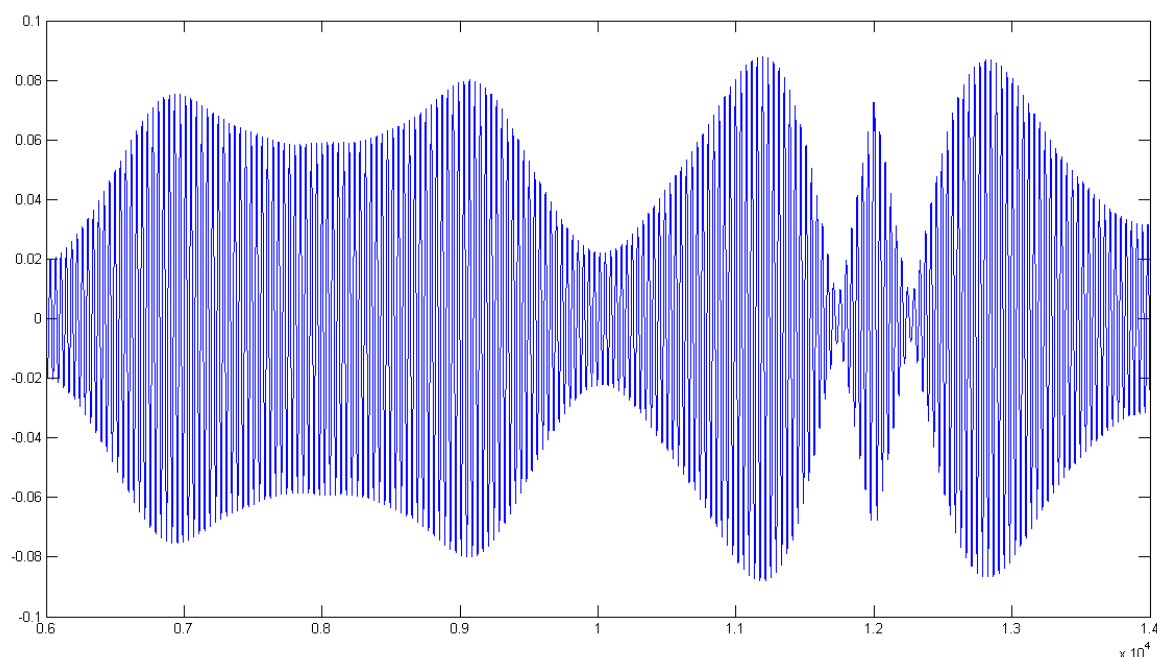


Рис. 3. Реализация 8 полупериодов сигнала биений

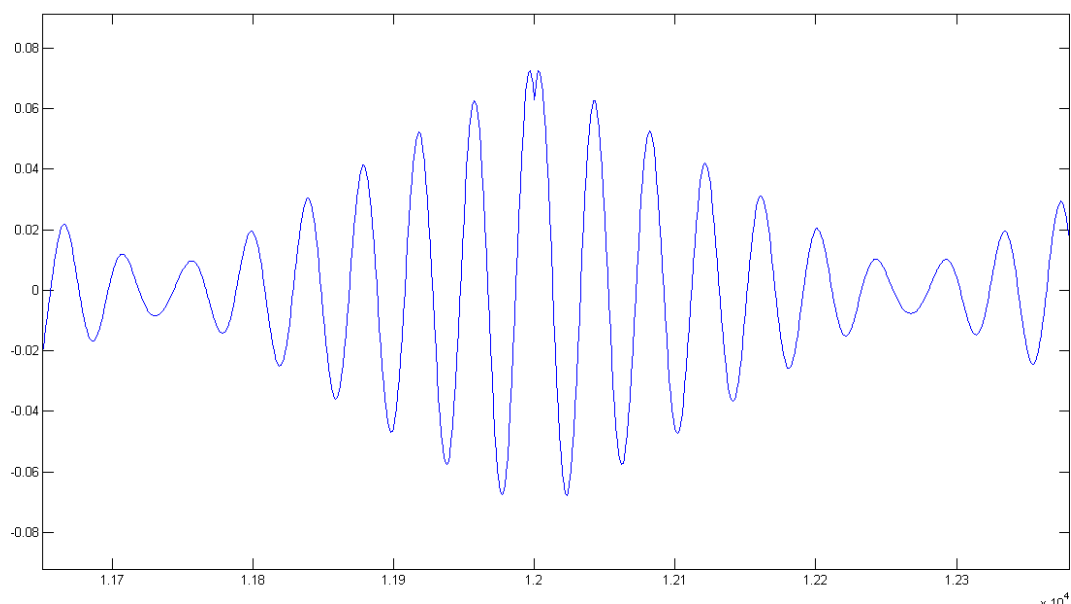


Рис. 4. Реализация сигнала биений в окрестности зоны обращения

Заключение

Разработан алгоритм расчёта сигнала ЧМРВ, рассеянного подстилающей поверхностью. Проведено тестирование разработанного алгоритма. Показано, что полученный результат отражает все особенности формирования сигнала биений ЧМРВ.

Предложенный алгоритм может быть использован при моделировании систем с частотной модуляцией.

Список литературы

1. Веницкий А. С. Очерк основ радиолокации при непрерывном излучении радиоволн./ А. С. Веницкий // М.: Сов. Радио, 1961. –496 с.
2. Веницкий А.С. Автономные радиосистемы: Учебное пособие для вузов. / А. С. Веницкий // М.: Радио и связь, 1986.-336с.

3. Комаров И.В. Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний / И.В. Комаров, С.М. Смольский // М.: Горячая линия Телеком, 2010. –392 с.
4. Скрыпник О. Н. Радионавигационные системы воздушных судов: Учебник / О.Н. Скрыпник. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 348 с.
5. Математические модели радиосигналов в бортовых автономных радиотехнических измерителях: Учеб. пособие : (Для дневной и веч. форм обучения) / Н. А. Важенин, С. А. Волковский; Моск. авиац. ин-т им. Серго Орджоникидзе 47, М. Изд-во МАИ 1988.

References

1. Vinitsky A. S. A sketch of bases of a radar-location at the continuous radiation radiovoln./A.S. Vinitsky//M.: Owls. Radio, 1961. –496 pages.
2. Vinitsky A. S. Autonomous radio systems.: Manual for higher education institutions. / A.S. Vinitsky//M.: Radio and communication, 1986. - 336 pages.
3. Komarov I.V. Bases of the theory of radar-tracking systems with a continuous radiation of frequency-modulated fluctuations / I.V. Komarov, S. M. Smolsky//M.: Hot Telecom line. 2010. 392 pages.
4. Skrypnik O. N. Radio navigational systems of aircrafts: Textbook / O. N. Skrypnik. - М.: Research Center INFRA-M, 2014. - 348 pages.
5. Mathematical models of radio signals in onboard independent radio engineering measuring instruments: Studies. grant: (For day and веч. forms of education) / N. A. Vazhenin, S. A. Volkovsky; Mosk. авиац. in-t of Sergo Ordzhonikidze 47, М. Izd-vo MAI 1988.